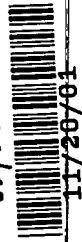


#2
02/11/01
12-501
PATENT

1c971 U.S. PTO
09/988630



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Naoki CHIBA

Serial No.: New

Group Art Unit: To Be Assigned

Filed: November 20, 2001

Examiner: To Be Assigned

For : APPARATUS FOR AND METHOD OF CALCULATING LENS DISTORTION
FACTOR, AND COMPUTER READABLE STORAGE MEDIUM HAVING
LENS DISTORTION FACTOR CALCULATION PROGRAM RECORDED
THEREON

CLAIM FOR FOREIGN PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

Under the provisions of Section 119 of 35 U.S.C., Applicant hereby claims the benefit of
Japanese application No. 2000-358823 filed in Japan on November 27, 2000, relating to the
above-identified United States patent application.

In support of Applicant's claim for priority, a certified copy of said Japanese application
is attached hereto.

Respectfully submitted,
SMITH, GAMBRELL & RUSSELL, LLP

By: 

Michael A. Makuch, Reg. No. 32,263
1850 M Street, N.W., Suite 800
Washington, D.C. 20036
Telephone: (202) 659-2811
Fax: (202) 263-4329

November 20, 2001

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC971 U.S. PTO
09/988630
11/20/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2000年11月27日

出 願 番 号
Application Number:

特願2000-358823

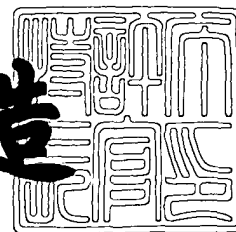
出 願 人
Applicant(s):

三洋電機株式会社

2001年 7月19日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3064604

【書類名】 特許願

【整理番号】 NCA1001063

【提出日】 平成12年11月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 15/62

【発明者】

 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三洋電機株式会
社内

 【氏名】 千葉 直樹

【特許出願人】

 【識別番号】 000001889

 【氏名又は名称】 三洋電機株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100086391

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 香山 秀幸

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 007386

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9300341

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 レンズ歪み係数算出装置および算出方法、レンズ歪み係数算出プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 レンズを有する撮像手段で撮像された画像に対してレンズ歪み補正を行なうためのレンズ歪み係数算出装置において、

撮像手段によって撮像された 2 枚の画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 手段、

第 1 手段で求められた対応点の座標に基づいて、上記 2 枚の画像間の幾何変換係数を算出する第 2 手段、および

第 1 手段で求められた対応点の座標と、第 2 手段で求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 手段、

を備えていることを特徴とするレンズ歪み係数算出装置。

【請求項 2】 第 1 手段は、

撮像手段によって撮像された 2 枚の画像の重なり部を抽出する手段、

一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出する手段、および

上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡する手段、

を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載のレンズ歪み係数算出装置。

【請求項 3】 レンズを有する撮像手段で撮像された画像に対してレンズ歪み補正を行なうためのレンズ歪み係数算出方法において、

撮像手段によって撮像された 2 枚の画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 ステップ、

第 1 ステップで求められた対応点の座標に基づいて、上記 2 枚の画像間の幾何変換係数を算出する第 2 ステップ、および

第 1 ステップで求められた対応点の座標と、第 2 ステップで求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 ステップ、

を備えていることを特徴とするレンズ歪み係数算出方法。

【請求項 4】 第 1 ステップは、

撮像手段によって撮像された 2 枚の画像の重なり部を抽出するステップ、

一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出するステップ、および

上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡するステップ、

を備えていることを特徴とする請求項 3 に記載のレンズ歪み係数算出方法。

【請求項 5】 レンズを有する撮像手段で撮像された画像に対してレンズ歪み補正を行なうためのレンズ歪み係数算出プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

撮像手段によって撮像された 2 枚の画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 ステップ、

第 1 ステップで求められた対応点の座標に基づいて、上記 2 枚の画像間の幾何変換係数を算出する第 2 ステップ、および

第 1 ステップで求められた対応点の座標と、第 2 ステップで求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 ステップ、

をコンピュータに実行させめるためのレンズ歪み係数算出プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 6】 第 1 ステップは、

撮像手段によって撮像された 2 枚の画像の重なり部を抽出するステップ、

一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出するステップ、および

上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡するステップ、

を備えていることを特徴とする請求項 5 に記載のレンズ歪み係数算出プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 7】 レンズを有する撮像手段によって撮像された第 1 画像と第 2 画像とを合成する画像合成装置において、

第 1 画像および第 2 画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 手段、

第 1 手段で求められた対応点の座標に基づいて、第 1 画像と第 2 画像との間の幾何変換係数を算出する第 2 手段、

第 1 手段で求められた対応点の座標と、第 2 手段で求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 手段、

第 3 手段で算出されたレンズ歪み係数に基づいて、第 1 画像および第 2 画像に対してレンズ歪み補正を行なう第 4 手段、ならびに

第 4 手段で得られたレンズ歪み補正後の第 1 画像および第 2 画像を、レンズ歪み補正後の第 1 画像および第 2 画像との間の幾何変換係数を用いて合成する第 5 手段、

を備えていることを特徴とする画像合成装置。

【請求項 8】 第 1 手段は、

第 1 画像と第 2 画像との重なり部を抽出する手段、

一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出する手段、および

上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡する手段、

を備えていることを特徴とする請求項 7 に記載の画像合成装置。

【請求項 9】 レンズを有する撮像手段によって撮像された第 1 画像と第 2 画像とを合成する画像合成方法において、

第 1 画像および第 2 画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 ステップ、

第 1 ステップで求められた対応点の座標に基づいて、第 1 画像と第 2 画像との間の幾何変換係数を算出する第 2 ステップ、

第 1 ステップで求められた対応点の座標と、第 2 ステップで求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 ステップ、

第 3 ステップで算出されたレンズ歪み係数に基づいて、第 1 画像および第 2 画像に対してレンズ歪み補正を行なう第 4 ステップ、ならびに

第 4 ステップで得られたレンズ歪み補正後の第 1 画像および第 2 画像を、レンズ歪み補正後の第 1 画像および第 2 画像との間の幾何変換係数を用いて合成する第 5 ステップ、

を備えていることを特徴とする画像合成方法。

【請求項 1 0】 第 1 ステップは、

第 1 画像と第 2 画像との重なり部を抽出するステップ、

一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出するステップ、および

上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡するステップ、

を備えていることを特徴とする請求項 9 に記載の画像合成方法。

【請求項 1 1】 レンズを有する撮像手段によって撮像された第 1 画像と第 2 画像とを合成する画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

第 1 画像および第 2 画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 ステップ、

第 1 ステップで求められた対応点の座標に基づいて、第 1 画像と第 2 画像との間の幾何変換係数を算出する第 2 ステップ、

第 1 ステップで求められた対応点の座標と、第 2 ステップで求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 ステップ、

第 3 ステップで算出されたレンズ歪み係数に基づいて、第 1 画像および第 2 画像に対してレンズ歪み補正を行なう第 4 ステップ、ならびに

第 4 ステップで得られたレンズ歪み補正後の第 1 画像および第 2 画像を、レンズ歪み補正後の第 1 画像および第 2 画像との間の幾何変換係数を用いて合成する第 5 ステップ、

をコンピュータに実行させめるための画像合成プログラムを記録したコンピュ

ータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 1 2】 第 1 ステップは、

第 1 画像と第 2 画像との重なり部を抽出するステップ、

一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出するステップ、および

上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡するステップ、

を備えていることを特徴とする請求項 1 1 に記載の画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明は、レンズ歪み係数算出装置および算出方法、レンズ歪み係数算出プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体、画像合成装置および方法、ならびに画像合成プログラムを記録した記録媒体に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

〔1〕従来のオプティカルフローの算出方法についての説明

【0 0 0 3】

2 枚の画像からオプティカルフローを計算し、得られたオプティカルフローに基づいて、2 枚の画像間での位置合わせを行う技術が知られている。従来のオプティカルフローの算出方法について説明する。

【0 0 0 4】

（1）Lucas-Kanade 法

従来から、動画像における運動物体の見かけの速度場（オプティカルフロー）を計算する手法が数多く提案されている。中でも局所勾配法である Lucas-Kanade 法は、最も良い手法の一つである。その理由は、処理が高速、実装が容易、結果が信頼度を持つことである。

【 0 0 0 5 】

Lucas-Kanade法の詳細については、文献： B.Lucas and T.Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision," In Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI-81), pp. 674-979, 1981を参照のこと。

【 0 0 0 6 】

以下に、Lucas-Kanade法の概要を述べる。

ある時刻 t の画像座標 $p = (x, y)$ の濃淡パターン $I(x, y, t)$ が、ある微小時間後 (δt) に座標 $(x + \delta x, y + \delta y)$ に、その濃淡分布を一定に保ったまま移動した時、次のオプティカルフロー拘束式 1 が成り立つ。

【 0 0 0 7 】

【数 1】

$$\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\delta x}{\delta t} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{\delta y}{\delta t} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0$$

【 0 0 0 8 】

2次元画像でオプティカルフロー $\{v = (\delta x / \delta t, \delta y / \delta t) = (u, v)\}$ を計算するには、未知パラメータ数が2個であるので、もう一個拘束式が必要である。Lucas と Kanade(金出)は、同一物体の局所領域では、同一のオプティカルフローを持つと仮定した。

【 0 0 0 9 】

例えば、画像上の局所領域 ω 内で、オプティカルフローが一定であるとする、最小化したい濃淡パターンの二乗誤差 E は、

$$I_0(p) = I(x, y, t),$$

$$I_1(p+v) = I(x+u, y+v, t+\delta t)$$

と書き改めると、次式 2 で定義できる。

【 0 0 1 0 】

【数 2】

$$E = \sum_{\omega} [I_1(p+v) - I_0(p)]^2$$

【 0 0 1 1 】

ここで、 v が微少な場合には、テーラー展開の 2 次以上の項を無視できるので、次式 3 の関係が成り立つ。

【 0 0 1 2 】

【数 3】

$$I_1(\mathbf{p} + \mathbf{v}) = I_1(\mathbf{p}) + g(\mathbf{p})\mathbf{v}$$

【 0 0 1 3 】

ここで、 $g(\mathbf{p})$ は、 $I_1(\mathbf{p})$ の一次微分である。

【 0 0 1 4 】

誤差 E が最小になるのは、 E の v に対する微分値が 0 の時であるので、次式 4 の関係が成り立つ。

【 0 0 1 5 】

【数 4】

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{v}} E \\ &\approx \frac{\partial}{\partial \mathbf{v}} \sum_{\omega} [I_1(\mathbf{p}) + g(\mathbf{p})\mathbf{v} - I_0(\mathbf{p})]^2 \\ &= \sum_{\omega} 2g(\mathbf{p})[I_1(\mathbf{p}) + g(\mathbf{p})\mathbf{v} - I_0(\mathbf{p})] \end{aligned}$$

【 0 0 1 6 】

故にオプティカルフロー v は次式 5 で求められる。

【 0 0 1 7 】

【数 5】

$$\mathbf{v} \approx \frac{\sum_{\omega} g(\mathbf{p})[I_0(\mathbf{p}) - I_1(\mathbf{p})]}{\sum_{\omega} g(\mathbf{p})^2}$$

【 0 0 1 8 】

更に、次式 6 に示すように、ニュートン・ラフソンの反復演算によって精度良く求めることができる。

【0019】

【数6】

$$\mathbf{v}_{k+1} = \mathbf{v}_k + \frac{\sum g_k [I_0 - I_1^k]}{\sum (g_k)^2}$$

$$I_1^k = I_1(\mathbf{p} + \mathbf{v}_k),$$

$$g_k = g(\mathbf{p} + \mathbf{v}_k),$$

$$I_0 = I_0(\mathbf{p})$$

【0020】

(2) 階層的推定法

Lucas-Kanade法を含む勾配法の最も大きな問題点は、良好な初期値が必要なために、大きな動きに対しては適用できないことである。そこで、従来からピラミッド階層構造型に数段回の解像度の異なる画像を作成して解決する方法が提案されている。

【0021】

これは、まず、2枚の連続した画像から、予めそれぞれの画像の数段階の解像度の異なる画像を作成する。次に、最も解像度の低い画像間において、おおまかなオプティカルフローを計算する。そして、この結果を参考にして、一段解像度の高い画像間においてより精密なオプティカルフローを計算する。この処理を最も解像度の高い画像間まで順次繰り返す。

【0022】

図4は原画像を、図3は図4の原画像より解像度の低い画像を、図2は図3の低解像度画像より解像度の低い画像を、図1は図2の低解像度画像より解像度の低い画像を、それぞれ示している。図1～図4において、Sは、1つのパッチを示している。

【0023】

図1の画像（階層1の画像）、図2の画像（階層2の画像）、図3の画像（階層3の画像）および図4の画像（階層4の画像）の順番で段階的にオプティカルフローが求められる。図1～図4において矢印は、パッチ毎に求められたオプティカルフローベクトルを示している。

【 0 0 2 4 】

しかしながら、ここでの問題点は、実画像では、十分な模様（テクスチャ）を含む領域が少なく、信頼性のあるオプティカルフローが得られないことにある。

【 0 0 2 5 】

〔 2 〕 本出願人が開発したオプティカルフロー算出方法についての説明。

【 0 0 2 6 】

本出願人が開発したオプティカルフロー算出方法は、ピラミッド階層型に数段回の解像度の異なる画像を作成して、オプティカルフローを段階的に計算する階層的推定を前提としている。オプティカルフローの計算方法は、Lucas-Kanade法等の勾配法に従う。つまり、階層構造化した勾配法によるオプティカルフロー推定法を前提としている。ここでは、勾配法としてLucas-Kanade法が用いられている。

【 0 0 2 7 】

本出願人が開発したオプティカルフロー推定方法の特徴は、階層構造化したLucas-Kanade法によるオプティカルフロー推定法の各段階において得られたオプティカルフローを、膨張処理によって補完することにある。以下、これについて詳しく説明する。

【 0 0 2 8 】

Lucas-Kanade法の長所の一つは、追跡結果が信頼性を持つことである。Tomasi と Kanade とは、ある領域の追跡可能性が、以下のように微分画像から算出できることを示した (C.Tomasi and T.Kanade, "Shape and Motion from Image Streams: a Factorization method-Part 3 Detection and Tracking of Point Features", CMU-CS-91-132, Carnegie Mellon University, 1991.)。

【 0 0 2 9 】

ある領域画像 ω の垂直・水平方向の微分の 2 乗を要素に持つ次式 7 の 2×2 の係数行列 G から、その固有値を計算することで、その領域の追跡可能性を決定することができる。

【 0 0 3 0 】

【数 7】

$$G = \sum_{p \in \omega} g(p)g(p)^T$$

【0 0 3 1】

この行列 G の固有値が両方とも大きい場合には、その領域は直交方向に変化を持ち、一意の位置決めが可能である。従って、小さい方の固有値 λ_{\min} と、追跡後の領域間の濃淡残差 E から、追跡結果の信頼度 γ を次式 8 によって得ることができる。

【0 0 3 2】

【数 8】

$$\gamma = \frac{\lambda_{\min}}{E}$$

【0 0 3 3】

本発明者らは、オプティカルフローの同一階層内で信頼度の高い結果を用いて、信頼度の低い領域を補間する方法を開発した。これは、一段階粗い階層での結果を、追跡の初期値だけに用いて、着目している現段階の階層の結果には何も利用しない。代わりに、テクスチャの少ない領域のオプティカルフローはその周囲のオプティカルフローに近い値を持つと仮定し、モルフォロジー処理によりフロー場を補完するものである。

【0 0 3 4】

図 5 にフローベクトルの膨張処理の様子を示す。

【0 0 3 5】

左図は、フローベクトルの信頼度のマップを濃淡で表したものである。ここで、黒ければ黒い程信頼度が高いとする。

【0 0 3 6】

まず、得られたフローをしきい値処理する。白い部分は、結果の信頼度が低いために、しきい値処理されたものである。

【 0 0 3 7 】

次に、2 値画像でのモルフォロジー演算による穴埋め処理を模して、フロー場において結果の膨張処理を次のように行う。ある領域 i, j のフローベクトル $u(i, j)$ は、その 4 近傍のフローベクトルから信頼度 γ に応じて重み付けを行って次式 9 のように計算できる。

【 0 0 3 8 】

【数 9】

$$u(i, j) = \sum_{p, q} \frac{\gamma(i+p, j+q) \times u(i+p, j+q)}{\gamma_A}$$

$$(p, q) = (0, 1), (0, -1), (-1, 0), (1, 0)$$

$$\gamma_A = \sum_{p, q} \gamma(i+p, j+q)$$

【 0 0 3 9 】

この処理を、しきい値処理されたすべての信頼度の低い領域が埋まるまで、繰り返す。この補完処理を、各階層において行う。なお、ある領域 i, j のフローベクトル $u(i, j)$ を、その 8 近傍のフローベクトルから信頼度 γ に応じて重み付けを行って算出するようにしてもよい。

【 0 0 4 0 】

図 6 (a) は、ある階層の画像に対してしきい値処理されたオプティカルフローを示し、図 6 (b) は補完後のオプティカルフローを示している。図 6 (a) において、矢印はしきい値処理によって信頼度が高いと判定されたオプティカルフローベクトルであり、×印は信頼度が低いとされた部分を示している。

【 0 0 4 1 】

〔 3 〕 従来のパノラマ画像の生成方法の説明

本特許出願人は、複数枚の画像間の幾何学パラメータを算出し、算出した幾何学パラメータに基づいてこれらの画像を合成することにより、パノラマ画像を生成する方法を既に開発している（特開平 1 1 - 3 3 9 0 2 1 号公報参照）。

【 0 0 4 2 】

今回、本特許出願人は、より精度の高いパノラマ画像を得るために、レンズ歪

み校正方法を提案する。従来のレンズ歪み校正方法では、特別な校正用パターンを用意し、校正用パターンの画像を複数毎撮像し、得られた画像に基づいてレンズ歪み係数を算出していた（文献：Z.Zhang,"Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations,"Proc.ICCV99,pp.666-673,1999）。

【 0 0 4 3 】

しかしながら、ユーザが校正用パターンを用いてレンズ歪みを校正することは、困難である。

【 0 0 4 4 】

【発明が解決しようとする課題】

この発明は、校正用パターンを用いることなくレンズ歪みを校正できる、レンズ歪み係数算出装置、レンズ歪み係数算出方法およびレンズ歪み係数算出プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供することを目的とする。

【 0 0 4 5 】

また、この発明は、精度の高いパノラマ画像が得られる画像合成装置、画像合成方法、画像合成プログラムを記録した記録媒体を提供することを目的とする。

【 0 0 4 6 】

【課題を解決するための手段】

この発明によるレンズ歪み係数算出装置は、レンズを有する撮像手段で撮像された画像に対してレンズ歪み補正を行なうためのレンズ歪み係数算出装置において、撮像手段によって撮像された 2 枚の画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 手段、第 1 手段で求められた対応点の座標に基づいて、上記 2 枚の画像間の幾何変換係数を算出する第 2 手段、および第 1 手段で求められた対応点の座標と、第 2 手段で求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 手段を備えていることを特徴とする。

【 0 0 4 7 】

第 1 手段は、たとえば、撮像手段によって撮像された 2 枚の画像の重なり部を抽出する手段、一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間の

オプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出する手段、および上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡する手段を備えている。

【 0 0 4 8 】

この発明によるレンズ歪み係数算出方法は、レンズを有する撮像手段で撮像された画像に対してレンズ歪み補正を行なうためのレンズ歪み係数算出方法において、撮像手段によって撮像された 2 枚の画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 ステップ、第 1 ステップで求められた対応点の座標に基づいて、上記 2 枚の画像間の幾何変換係数を算出する第 2 ステップ、および第 1 ステップで求められた対応点の座標と、第 2 ステップで求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 ステップを備えていることを特徴とする。

【 0 0 4 9 】

第 1 ステップは、たとえば、撮像手段によって撮像された 2 枚の画像の重なり部を抽出するステップ、一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出するステップ、および上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡するステップを備えている。

【 0 0 5 0 】

この発明によるレンズ歪み係数算出プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、レンズを有する撮像手段で撮像された画像に対してレンズ歪み補正を行なうためのレンズ歪み係数算出プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、撮像手段によって撮像された 2 枚の画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第 1 ステップ、第 1 ステップで求められた対応点の座標に基づいて、上記 2 枚の画像間の幾何変換係数を算出する第 2 ステップ、および第 1 ステップで求められた対応点の座標と、第 2 ステップで求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第 3 ステップをコンピュータに実行させめるためのレンズ歪み係数算出プ

ログラムを記録していることを特徴とする。

【0051】

第1ステップは、たとえば、撮像手段によって撮像された2枚の画像の重なり部を抽出するステップ、一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出するステップ、および上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡するステップを備えている。

【0052】

この発明による画像合成装置は、レンズを有する撮像手段によって撮像された第1画像と第2画像とを合成する画像合成装置において、第1画像および第2画像に基づいて、これらの画像間に対応する複数の対応点の座標を求める第1手段、第1手段で求められた対応点の座標に基づいて、第1画像と第2画像との間の幾何変換係数を算出する第2手段、第1手段で求められた対応点の座標と、第2手段で求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第3手段、第3手段で算出されたレンズ歪み係数に基づいて、第1画像および第2画像に対してレンズ歪み補正を行なう第4手段、ならびに第4手段で得られたレンズ歪み補正後の第1画像および第2画像を、レンズ歪み補正後の第1画像および第2画像との間の幾何変換係数を用いて合成する第5手段を備えていることを特徴とする。

【0053】

第1手段は、たとえば、第1画像と第2画像との重なり部を抽出する手段、一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出する手段、および上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡する手段を備えている。

【0054】

この発明による画像合成方法は、レンズを有する撮像手段によって撮像された第1画像と第2画像とを合成する画像合成方法において、第1画像および第2画

像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第1ステップ、第1ステップで求められた対応点の座標に基づいて、第1画像と第2画像との間の幾何変換係数を算出する第2ステップ、第1ステップで求められた対応点の座標と、第2ステップで求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第3ステップ、第3ステップで算出されたレンズ歪み係数に基づいて、第1画像および第2画像に対してレンズ歪み補正を行なう第4ステップ、ならびに第4ステップで得られたレンズ歪み補正後の第1画像および第2画像を、レンズ歪み補正後の第1画像および第2画像との間の幾何変換係数を用いて合成する第5ステップを備えていることを特徴とする。

【0055】

第1ステップは、たとえば、第1画像と第2画像との重なり部を抽出するステップ、一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出するステップ、および上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡するステップを備えている。

【0056】

この発明による画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、レンズを有する撮像手段によって撮像された第1画像と第2画像とを合成する画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、第1画像および第2画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第1ステップ、第1ステップで求められた対応点の座標に基づいて、第1画像と第2画像との間の幾何変換係数を算出する第2ステップ、第1ステップで求められた対応点の座標と、第2ステップで求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第3ステップ、第3ステップで算出されたレンズ歪み係数に基づいて、第1画像および第2画像に対してレンズ歪み補正を行なう第4ステップ、ならびに第4ステップで得られたレンズ歪み補正後の第1画像および第2画像を、レンズ歪み補正後の第1画像および第2画像との間の幾何変換係数を用いて合成する第5ステップをコンピュータに実行させめるための画像合成プログラムを記録していることを特徴とする。

【 0 0 5 7 】

第 1 ステップは、たとえば、第 1 画像と第 2 画像との重なり部を抽出するステップ、一方の画像における他方の画像との重なり部分から、両画像間のオプティカルフローによる追跡に有効な複数の部分画像を特徴点として抽出するステップ、および上記一方の画像上の各特徴点に対応する上記他方の画像上の点を、両画像間のオプティカルフローに基づいて追跡するステップを備えている。

【 0 0 5 8 】

【発明の実施の形態】

以下、この発明をパノラマ画像合成装置に適用した場合の実施の形態について説明する。

【 0 0 5 9 】

〔 2 〕 パノラマ画像合成装置の説明

【 0 0 6 0 】

図 7 は、パノラマ画像合成装置の構成を示している。

【 0 0 6 1 】

パノラマ画像合成装置は、パーソナルコンピュータによって実現される。パーソナルコンピュータ 1 0 には、ディスプレイ 2 1、マウス 2 2 およびキーボード 2 3 が接続されている。パーソナルコンピュータ 1 0 は、CPU 1 1、メモリ 1 2、ハードディスク 1 3、CD-ROM のようなリムーバブルディスクのドライブ（ディスクドライブ） 1 4 を備えている。

【 0 0 6 2 】

ハードディスク 1 3 には、OS（オペレーティングシステム）等の他、パノラマ画像合成処理プログラムが格納されている。パノラマ画像合成処理プログラムは、それが格納された CD-ROM 2 0 を用いて、ハードディスク 1 3 にインストールされる。また、ハードディスク 1 3 には、デジタルカメラによって撮像された複数の画像が予め格納されているものとする。

【 0 0 6 3 】

〔 2 〕 パノラマ画像合成プログラムが起動せしめられた場合に CPU 1 1 によって行われるパノラマ画像合成処理の説明

【 0 0 6 4 】

図 8 は、CPU 1 1 によって行われる全体的な処理手順を示している。

【 0 0 6 5 】

ここでは、説明の便宜上の 2 枚の画像を合成して、パノラマ画像を生成する場合について説明する。

【 0 0 6 6 】

まず、合成されるべき 2 枚の画像をメモリ 1 2 に読み込む（ステップ 1）。

【 0 0 6 7 】

読み込まれた 2 枚の画像間の幾何変換係数を算出する（ステップ 2）。

【 0 0 6 8 】

次に、レンズ歪み係数を算出する（ステップ 3）。この際、幾何変換パラメータは、レンズ歪み係数に基づいて補正される。

【 0 0 6 9 】

算出されたレンズ歪み係数に基づいて、上記 2 枚の画像に対してレンズ歪み補正処理を行なう（ステップ 4）。

【 0 0 7 0 】

レンズ歪み補正処理後の 2 枚の画像と、レンズ歪み係数に基づいて補正された幾何変換パラメータに基づいて、2 枚の画像が合成される（ステップ 5）。

【 0 0 7 1 】

以下、各ステップ 2 ～ 5 について、さらに詳細に説明する。

【 0 0 7 2 】

〔 3 〕 図 8 のステップ 2 の処理の説明

【 0 0 7 3 】

図 9 は、図 8 のステップ 2 の処理の詳細な手順を示している。

【 0 0 7 4 】

説明の便宜上、ここでは、重なり部を有する 2 枚の画像（第 1 画像 A 1 及び第 2 画像 A 2）を接合する場合について説明する。

【 0 0 7 5 】

まず、第 1 画像 A 1 と第 2 画像 A 2 との重なり部の抽出処理が行われる（ステ

ップ 1 1)。この重なり部の抽出処理は、たとえば、SSD法 (Sum of Squared Difference)、正規化相互相関法に基づいて行われる。

【0 0 7 6】

(a) SSD法の説明

SSD法では、まず、重なり部を抽出すべき2枚の画像A 1、A 2それぞれについて、原画像より解像度の低い画像 I_1 、 I_2 が生成される。2枚の低解像度画像 I_1 、 I_2 の重なり部分 ω (サイズ: $M \times N$) が、次式 1 0 に示すように画素あたりの2乗誤差Eを用いて求められる。画像間の移動量(d)が可能な範囲で変化せしめられ、Eが最も小さい移動量(d)から、重なり部が抽出される。

【0 0 7 7】

【数 1 0】

$$E(\mathbf{d}) = \frac{\sum_{\omega} (I_1(x) - I_2(x + \mathbf{d}))^2}{M \times N}$$

【0 0 7 8】

(b) 正規化相互相関法の説明

正規化相互相関法では、まず、重なり部を抽出すべき2枚の画像A 1、A 2それぞれについて、原画像より解像度の低い画像 I_1 、 I_2 が生成される。2枚の低解像度画像 I_1 、 I_2 の重なり部分 ω (サイズ: $M \times N$) が、次式 1 1 に示すように正規化相互相関係数Cを用いて求められる。画像間の移動量(d)が可能な範囲で変化せしめられ、Cが最も大きな移動量(d)から、重なり部が抽出される。

【0 0 7 9】

【数 1 1】

$$C(\mathbf{d}) = \frac{\sum_{\omega} (I_1(x) - \bar{I}_1)(I_2(x + \mathbf{d}) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sigma_1 \cdot \sigma_2}}$$

【0 0 8 0】

式 1 1 において、 \bar{I}_1 、 \bar{I}_2 は、第1画像を固定させ、第2画像をdだけ

移動させたときの、両画像の重なり部における各画像それぞれの濃淡値の平均である。また、 σ_1 、 σ_2 は、第 1 画像 I_1 を固定させ、第 2 画像 I_2 を d だけ移動させたときの、両画像の重なり部における各画像それぞれの濃淡値の分散である。

【 0 0 8 1 】

次に、特徴点抽出処理が行われる（ステップ 1 2）。つまり、第 1 画像 A_1 における第 2 画像 A_2 との重なり部分から、追跡に有効な複数の部分画像（矩形領域）が特徴点として抽出される。ただし、各特徴点は互いに重ならないように抽出される。具体的には、上述した固有値 λ_{\min} （式 8 参照）の高い部分が特徴点として抽出される。

【 0 0 8 2 】

次に、特徴点追跡処理が行われる（ステップ 1 3）。つまり、抽出された第 1 画像 A_1 上の特徴点に対する第 2 画像 A_2 上の位置が追跡される。

【 0 0 8 3 】

具体的には、まず、本出願人が開発したオプティカルフロー推定方法（従来技術の説明の欄の〔2〕参照）によって、適当なサイズ（例えば、 13×13 ）のパッチ毎のオプティカルフローベクトルが求められる。第 1 画像 A_1 上の特徴点に対応する第 2 画像 A_2 上の位置は、第 1 画像 A_1 上の特徴点の 4 近傍のパッチのフローベクトルから線形補間により画素単位以下で求められる。これにより、第 1 画像 A_1 と第 2 画像 A_2 との重なり部において、両画像の対応点の座標が得られる。

【 0 0 8 4 】

次に、幾何変換行列（幾何変換係数）が算出される（ステップ 1 4）。

【 0 0 8 5 】

幾何変換係数としては、ここでは、平面射影変換行列が用いられる。なお、撮像条件によっては、幾何変換として、アフィン変換、2 次元剛体変換、2 次元並進運動等を用いてもよい。

【 0 0 8 6 】

対象としているシーンが遠方にある場合や、近くても建物や壁、黒板などの場

合には、それらを単一平面と仮定することができる。図 1 0 に示すように 3 次元空間中の単一平面の点 M を 2 つの異なる視点 C_1 、 C_2 から観察した時、これらの各画像面での座標 m_1 、 m_2 の間の変換は、線形であることが射影幾何学において知られており、homography と呼ばれている (O. Faugeras, "Three-Dimension Computer Vision: a Geometric Viewpoint", MIT press, 1993.)。

【 0 0 8 7 】

すなわち、画像座標を斉次座標で表した第 2 画像上の点 $m_2 = (x_2, y_2, 1)^t$ は、第 1 画像上で対応する点 $m_1 = (x_1, y_1, 1)^t$ を持ち、それらの関係は次式 1 2 で定義される。

【 0 0 8 8 】

【数 1 2】

$$m_1 \sim H m_2 = \begin{pmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

【 0 0 8 9 】

ここで \sim は射影的に等しいことを示し、スケール因子を残す。ここでは、そして、この変換行列 H は、次式 1 3 のように書き換えることができる。

【 0 0 9 0 】

【数 1 3】

$$x_1 = \frac{h_0 x_2 + h_1 y_2 + h_2}{h_6 x_2 + h_7 y_2 + 1}$$

$$y_1 = \frac{h_3 x_2 + h_4 y_2 + h_5}{h_6 x_2 + h_7 y_2 + 1}$$

【 0 0 9 1 】

〔 4 〕 図 8 のステップ 3 の処理（レンズ歪み係数の算出処理）の説明

【 0 0 9 2 】

レンズ歪みとは、レンズ歪み中心からの距離に応じて幾何学的に歪む現象をいう。画像平面上の座標を画像座標ということにする。 (u_t, v_t) をレンズ歪

みのない真の画像座標とすると、一般にレンズ歪みを含んだ実際に観察された画像座標 (u_a, v_a) は、次式 1 4 で表すことができる。

【0 0 9 3】

【数 1 4】

$$\begin{aligned} u_a &= u_i + (u_i - u_o)kr^2 \\ v_a &= v_i + (v_i - v_o)kr^2 \\ r^2 &= (u_i - u_o)^2 + (v_i - v_o)^2 \end{aligned}$$

【0 0 9 4】

上記式 1 4 において、 k は歪み係数、 (u_o, v_o) はレンズ歪みの中心座標である。

【0 0 9 5】

第 1 画像 A 1 の各特徴点の座標を P_i 、それらに対応する第 2 画像 A 2 上の座標を P'_i 、両画像間の幾何変換行列を H とすると、誤差関数 E を次式 1 5 ように定義することができる。

【0 0 9 6】

【数 1 5】

$$E = \sum_i (p_i - H(p'_i))^2$$

【0 0 9 7】

ここで、レンズ歪みの中心座標 (u_o, v_o) が画像中心に一致すると仮定すると、誤差関数 E は、上記式 1 4 の歪み係数 k を用いて、次式 1 6 のように書き直すことができる。

【0 0 9 8】

【数 1 6】

$$E = \sum_i (p_i(k) - H(p'_i(k)))^2$$

【0 0 9 9】

この誤差 E を最小化するレンズ歪み係数 k を、ニュートンラフソン法を用いて

算出する。すなわち、係数 k の変化分 dk が非常に小さい場合、テーラー展開することで、二次以降の項を無視すると次式 17 を得る。

【0 1 0 0】

【数 1 7】

$$E(k + dk) = E(k) + dkE'(k)$$

【0 1 0 1】

ただし、 E' は、誤差関数 E の一次微分である。 E の最小値を求めたいので、次式 18 を得る。

【0 1 0 2】

【数 1 8】

$$E(k + dk) = 0$$

【0 1 0 3】

上記式 18 を上記式 17 に代入すると、次式 19 によって dk を算出することができる。

【0 1 0 4】

【数 1 9】

$$dk = -\frac{E(k)}{E'(k)}$$

【0 1 0 5】

また、次式 20 に示すように、反復的に計算することにより、より精度よく dk を算出することができる。

【0 1 0 6】

【数 2 0】

$$dk_{i+1} = dk_i - \frac{E(k_{i+1})}{E'(k_{i+1})}$$

【0 1 0 7】

つまり、起点を $k = 0$ として、 dk_0 、 dk_1 、 dk_2 、 \dots dk_n を順番に求

めていく。 dk_0 を算出する際には、上記式 1 6 における幾何変換行列 H としては、ステップ 2 で算出された行列 (H_0 とする) が用いられる。そして、 dk_0 が求められると、 $dk_0 = k$ として、上記式 1 4 に基づいて、幾何変換行列 H を算出するために用いられる第 1 画像 A_1 と第 2 画像 A_2 との対応点 (特徴点) に対してレンズ歪み補正が行なわれ、レンズ歪み補正後の対応点から幾何変換行列 H_1 が新たに算出される。

【0 1 0 8】

dk_1 を算出する際には、上記式 1 6 における幾何変換行列 H として、新たに算出された幾何変換行列 H_1 が用いられる。 dk_2 以降を算出する場合も同様である。そして、最終的に求められた $dk_n (=k)$ に基づいて、幾何変換行列 H_n を新たに算出する。

【0 1 0 9】

なお、 dk_0 、 dk_1 、 dk_2 、 $\dots dk_n$ を求める際に、上記式 1 6 における幾何変換行列 H として、ステップ 2 で算出された行列 H を常に用いてもよい。この場合にも、最終的に求められた $dk_n (=k)$ に基づいて、幾何変換行列 H_n を新たに算出する。

【0 1 1 0】

〔5〕図 8 のステップ 4 の処理 (レンズ歪み補正処理) の説明

【0 1 1 1】

ステップ 4 のレンズ歪み補正処理では、ステップ 3 で最終的に求められたレンズ歪み係数 $dk (=k)$ と、上記式 1 4 とに基づいて、第 1 画像 A_1 および第 2 画像 A_2 から、レンズ歪みが補正された画像 A_1' 、 A_2' を生成する。

【0 1 1 2】

つまり、真の画像座標の所定位置を (u_t, v_t) とし、この所定位置 (u_t, v_t) に対応するレンズ歪みを含んだ画像座標を、上記数式 1 4 から求める。所定位置 (u_t, v_t) に対応するレンズ歪みを含んだ画像座標の画像データを、上記所定位置 (u_t, v_t) の画像データとする。

【0 1 1 3】

〔6〕図 8 のステップ 5 の処理 (画像合成処理) の説明

【0 1 1 4】

ステップ5の画像合成処理では、ステップ4で得られたレンズ歪みが補正された第1および第2画像 A_1' 、 A_2' と、ステップ3で最終的に求められた d_k ($=k$)に基づいて算出された幾何変換行列 H_n とに基づいて、第1画像 A_1' と第2画像 A_2' とが合成される。

【0 1 1 5】

【発明の効果】

この発明によれば、校正用パターンを用いることなく、レンズ歪みを校正できるようになる。また、この発明によれば、精度の高いパノラマ画像が得られるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は、階層的推定法を説明するための図であって、階層1の画像を示す模式図である。

【図2】

図2は、階層的推定法を説明するための図であって、階層2の画像を示す模式図である。

【図3】

図3は、階層的推定法を説明するための図であって、階層3の画像を示す模式図である。

【図4】

図4は、階層的推定法を説明するための図であって、階層4の画像を示す模式図である。

【図5】

図5は、実施例で採用されたオプティカルフロー推定方法において行われる膨張処理を説明するための模式図である。

【図6】

図6(a)は、ある階層の画像に対してしきい値処理されたオプティカルフローの例を示す模式図であり、図6(b)は、補完後のオプティカルフローを示す

模式図である。

【図 7】

図 7 は、パノラマ画像合成装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】

図 8 は、パノラマ画像合成処理手順を示すフローチャートである。

【図 9】

図 9 は、図 8 のステップ 2 の処理の詳細な手順を示すフローチャートである。

【図 1 0】

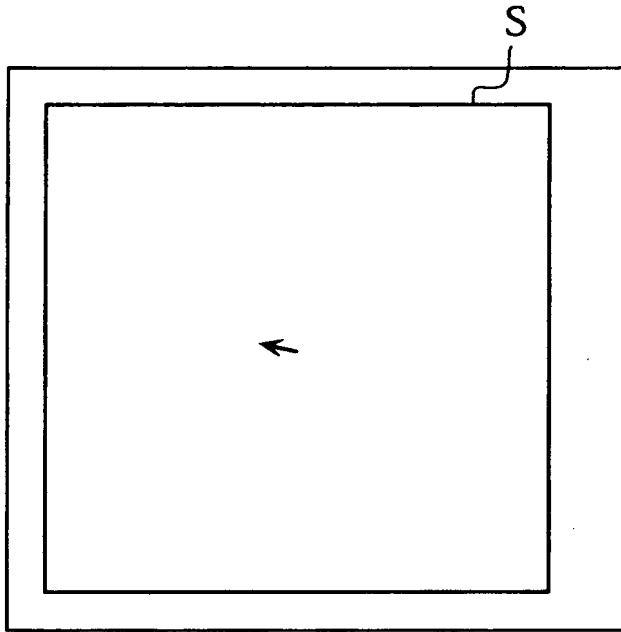
図 1 0 は、平面射影行列を説明するための説明図である。

【符号の説明】

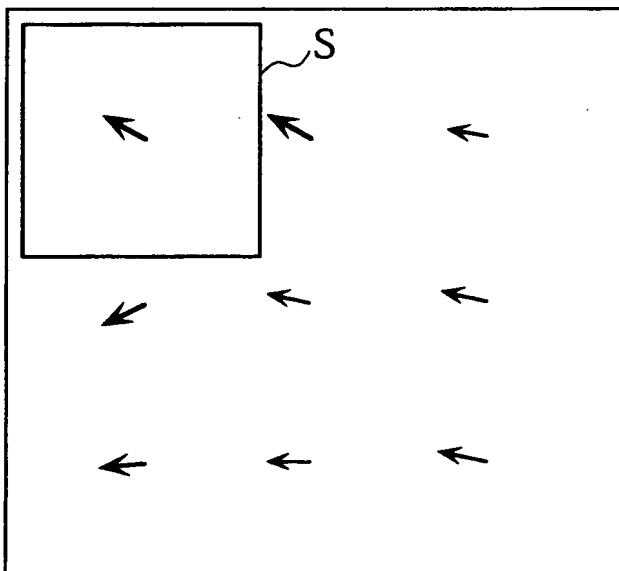
- 1 0 パーソナルコンピュータ
- 1 1 C P U
- 1 2 メモリ
- 1 3 ハードディスク
- 1 4 リムーバブルディスクのドライブ
- 2 1 ディスプレイ
- 2 2 マウス
- 2 3 キーボード

【書類名】 図面

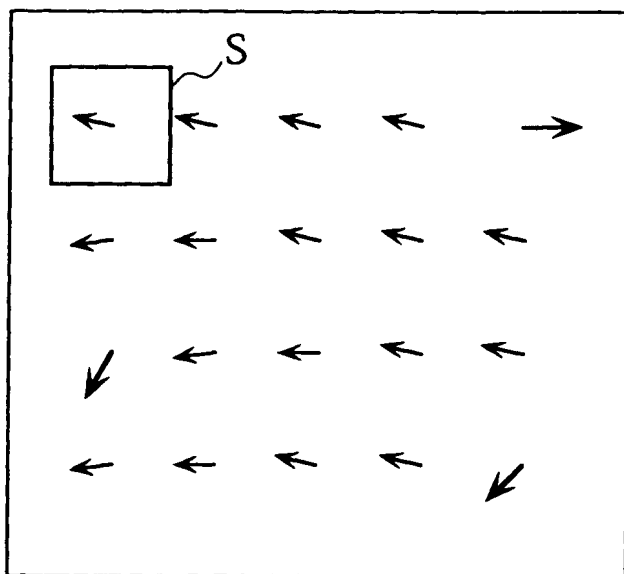
【図 1】



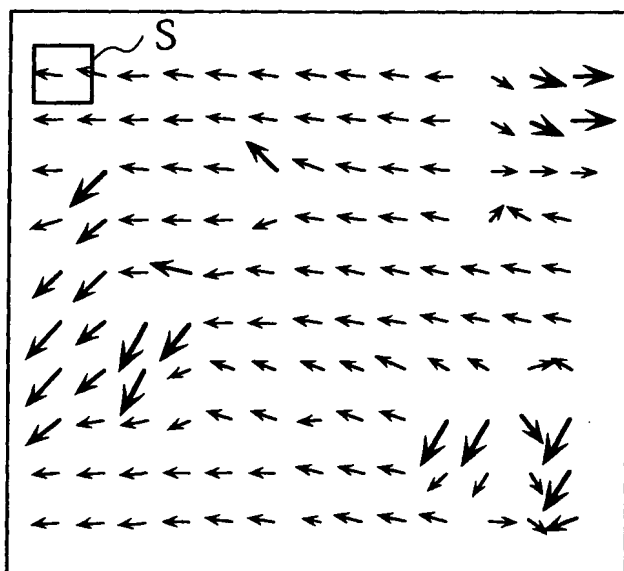
【図 2】



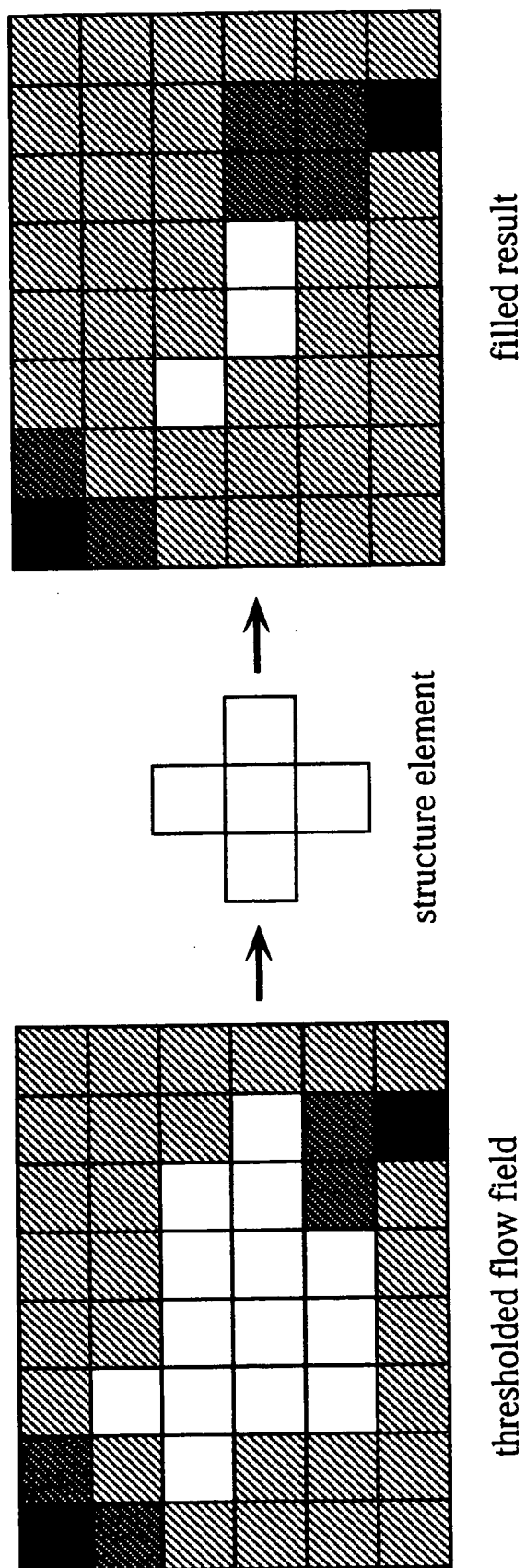
【図3】



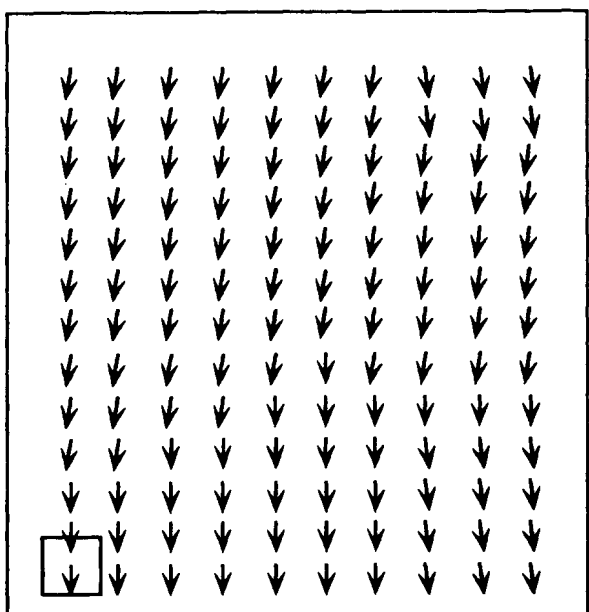
【図4】



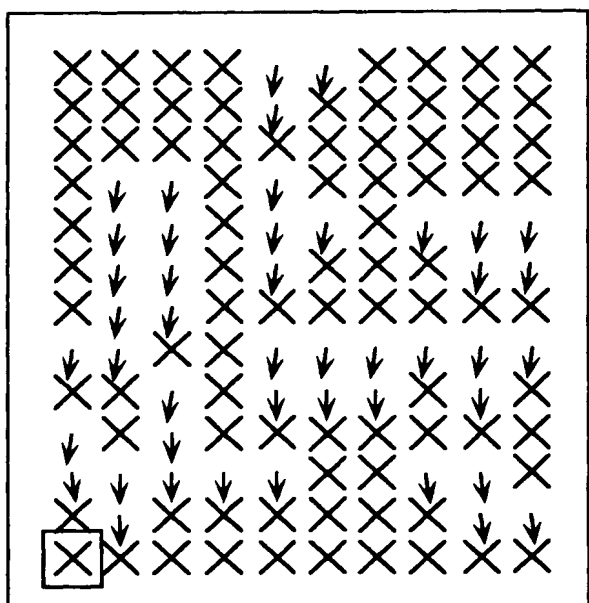
【图 5】



【图 6】

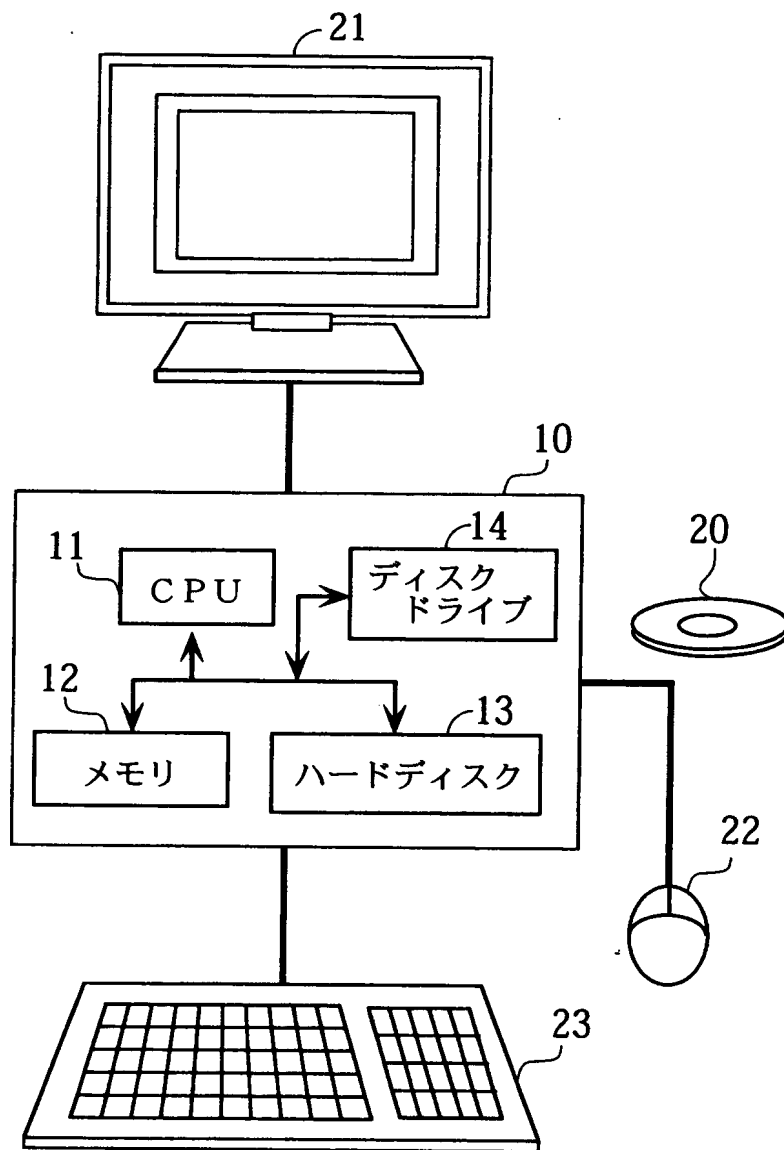


(b)

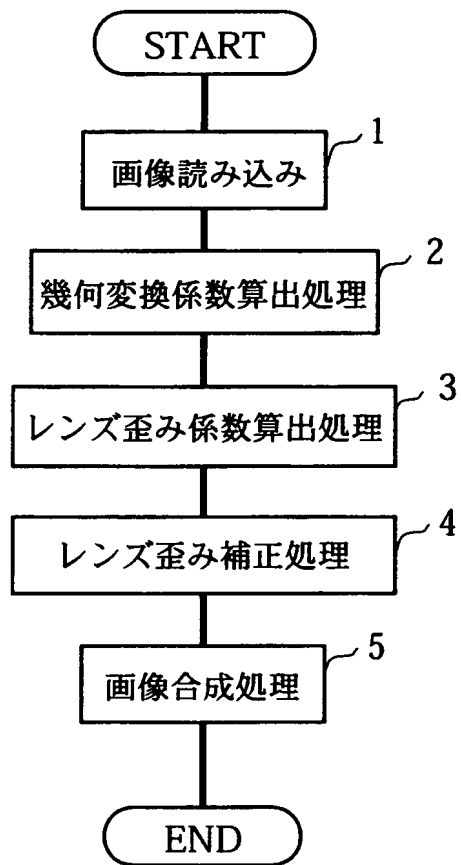


(a)

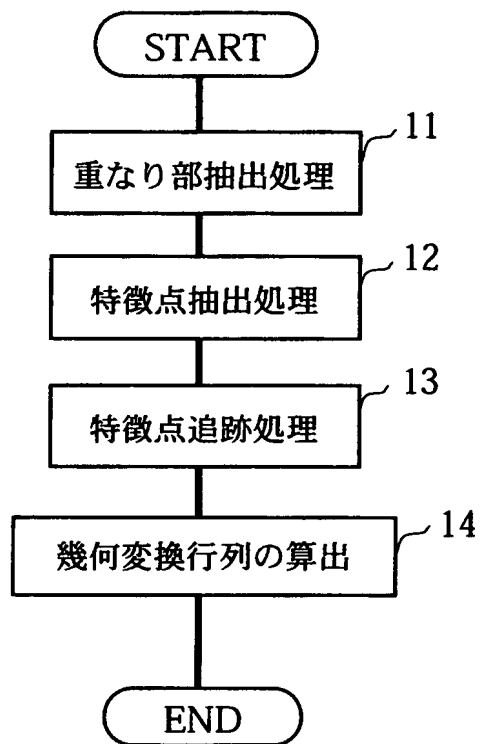
【図7】



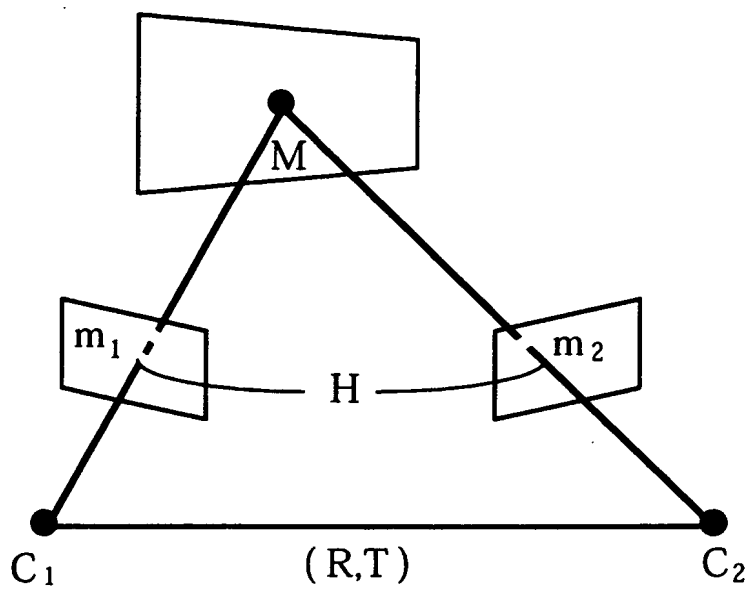
【図 8】



【図 9】



【图 1 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 この発明は、校正用パターンを用いることなくレンズ歪みを校正できる、レンズ歪み係数算出装置を提供することを目的とする。

【構成】 レンズを有する撮像手段で撮像された画像に対してレンズ歪み補正を行なうためのレンズ歪み係数算出装置において、撮像手段によって撮像された2枚の画像に基づいて、これらの画像間で対応する複数の対応点の座標を求める第1手段、第1手段で求められた対応点の座標に基づいて、上記2枚の画像間の幾何変換係数を算出する第2手段、および第1手段で求められた対応点の座標と、第2手段で求められた幾何変換係数とに基づいて、レンズ歪み係数を算出する第3手段を備えている。

【選択図】 図7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 1 8 8 9]

1. 変更年月日 1 9 9 3 年 1 0 月 2 0 日

[変更理由] 住所変更

住 所 大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号

氏 名 三洋電機株式会社